39

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. C. WOLF,

ASTRONOME A L'OBSERVATOIRE DE PARIS, PROFESSEUR AUXILIAIRE D'ASTRONOMIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES.
MEMBRE ASSOCIÉ DE LA SOCIÉTÉ ROYALE ASTRONOMIQUE DE LONDRES.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1878

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. C. WOLF,

ASTRONOME A L'OBSERVATOIRE DE PARIS, PROFESSEUR AUXILIAIRE D'ASTRONOMIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES, MEMBRE ASSOCIÉ DE LA SOCIÉTÉ ROYALE ASTRONOMIQUE DE LONDRES.

ASTRONOMIE.

Observations astronomiques faites à l'Observatoire de Paris.

Depuis mon entrée à l'Observatoire (novembre 1862), j'ai constamment pris part à toutes les observations méridiennes et extraméridiennes qui constituent le travail courant do l'Observatoire.

J'ai consacré les trois premiers mois de 1863, en collaboration avec MM. Barbier et Stéphan, à l'étude de la graduation du cercle du nouvel instrument méridien. Le volume XIX des *Annales de l'Observatoire* contient (p. 58 et suiv.) la description de la méthode employée et les résultats obtenus.

En même temps, je commençais à faire les observations méridiennes aux deux instruments de Gambey et au grand cercle méridien. En 1864 et 1865, j'ai été particulièrement employé au service du grand instrument méridien. Toutes mes observations ont été complétement réduites par moi seul.

En 1866 et 1867, j'ai fait constamment, avec M. Stéphan, les observations de jour au grand cercle méridien et au cercle de Gambey, pour la détermination de l'obliquité de l'écliptique et l'examen de l'influence des réfractions anormales. En même temps, chargé de l'éducation des jeunes astronomes, je rédigeai les *Instructions* pour les observations au cercle mural et

au cercle méridien, qui sont encore suivies aujourd'hui. A partir de cette époque mes élèves me remplacèrent à la salle méridienne, où je ne fus plus appelé que de temps en temps pour le service des petites planètes.

Depuis 1868, je me suis plus particulièrement adonné aux observations équatoriales. Outre un grand nombre de comètes et de planètes, j'ai déterminé, avec M. André, plus de 7000 étoiles, jusqu'à la onzième grandeur, qui ont été réduites à l'équinoxe moyen de 1870 pour la confection d'un catalogue de la zone écliptique et la continuation des Cartes de Chacornac. C'est pour la détermination de ces étoiles que j'ai construit un micromètre à mouvement et à lecture rapides, à l'aide duquel on peut obtenir en 20 minutes les coordonnées de 300 étoiles.

Ces observations ont servi à la construction des cartes écliptiques, confiée au service des équatoriaux que je dirige depuis 1873. La même méthode a été employée à la détermination des étoiles du groupe des Pléiades (*voir* p. 3) et de celle de l'amas de Præsepe dans le Cancer.

A côté de ces travaux d'observation, j'ai pris part à la construction et à l'installation de la plupart des instruments créés à l'Observatoire depuis 1862. J'avais aidé M. le Directeur dans l'installation du cercle méridien; j'en ai donné la seule description que contiennent les *Annales de l'Observatoire* (préambule des *Observations*), et j'ai contribué à l'achèvement de cet instrument. Les télescopes pour la détermination de la correction de collimation et de la flexion ont été installés par moi; je leur ai appliqué un nouveau mode d'éclairage des fils brillants encore actuellement en usage. J'avais, dès cette époque, donné les plans du niveau qui a été adapté à l'instrument.

Chargé de l'étude du réglage des pendules par l'électricité, j'ai installé dans les caves de l'Observatoire une horloge type, entretenue à température, sous pression et à degré d'humidité constants. Je signale plus loin un fait curieux que j'ai observé avec M. Winnerl touchant l'influence de l'air sec sur le fonctionnement d'une pendule. L'horloge des caves, dont la marche est d'une régularité parfaite, règle aujourd'hui celle des pendules de la salle méridienne et de l'équatorial de l'ouest.

Le sidérostat de L. Foucault, le nouveau cercle méridien donné à l'Observatoire par M. Bischoffsheim, ainsi que son abri, le grand télescope, sa maison roulante et l'escalier d'observation, ont été construits sous ma direction. Enfin j'ai fait à l'équatorial de l'ouest diverses additions : système d'éclairage des fils du micromètre au moyen d'un tube de Geissler, micromètre spécial pour la construction des cartes, spectroscopes, etc.

En dehors de ces travaux, qui constituent mon service régulier à l'Observatoire, j'ai dirigé mes recherches personnelles vers la détermination des causes d'erreurs physiques et physiologiques qui peuvent influencer les observations astronomiques. A ce plan général se rattachent mes recherches sur l'équation personnelle dans les observations de passages, et sur les apparences singulières qui se sont montrées aux astronomes dans les passages de Vénus et de Mercure sur le Soleil. J'ai été assez heureux pour voir mon appareil à équations personnelles adopté dans plusieurs observatoires étrangers; les conclusions de mes expériences admises par la Commission du passage de Vénus dans la construction des appareils destinés à l'observation du passage de 1874 et ces conclusions elles-mêmes vérifiées par les résultats des observations des astronomes ont pu aller observer au loin le phénomène. Enfin, j'ai eu le bonheur de voir mon collaborateur, M. André, poursuivre la voie dans laquelle je l'avais initié, par un beau travail sur les effets dus à la diffraction dans les lunettes.

Description du groupe des Pléiades et mesures micrométriques des principales étoiles qui le composent (*Comptes rendus* 1875, 6 juillet; *Ann. de l'Observatoire*, t. XIV des *Mémoires*).

L'étude des groupes d'étoiles présente un grand intérêt par la possibilité d'y découvrir les mouvements propres des composantes et d'établir entre elles le lien physique dont leur proximité optique rend l'existence très-probable. Les Pléiades, dont les principales étoiles ont été déterminées par Bessel à l'aide de l'héliomètre de Königsberg, le groupe de Præsepe étudié par M Winnecke à l'héliomètre de Bonn, ont été l'objet d'une révision complète. Les conclusions relatives à Præsepe ne peuvent encore être tirées, les observations de M. Winnecke n'ayant pas été publiées.

Mon travail sur les Pléiades comprend trois parties.

1° Un catalogue et une carte des 625 étoiles du groupe, jusqu'à la 14e grandeur, visibles dans l'étendue d'un rectangle long de 9 minutes de temps et haut de 90 minutes d'arc, dont η Taureau occupe à peu près le centre. Ce catalogue est réduit au 1er janvier 1874. Les positions de toutes les étoiles jusqu'à la 12e grandeur ont été déterminées à l'aide d'un micromètre de construction spéciale, qui permet une approximation de $\frac{1}{10}$ de minute d'arc sur les deux coordonnées. Les étoiles les plus faibles ont été seules ajoutées à vue sur la carte.

2° La détermination des grandeurs relatives des principales étoiles, dont la comparaison aux grandeurs assignées à ces mêmes étoiles par les catalogues anciens, depuis Galilée jusqu'à Argelander, m'a permis de signaler, pour plusieurs d'entre elles, Mérope, Atlas, 21 *k*, 22 *l*, anonyme 8 et 9 de Bessel, une variation certaine d'éclat. De plus une petite étoile (n° 92 de mon catalogue) s'est montrée variable dans l'intervalle même des observations.

A ces déterminations se rattachait la question tant controversée de la nébuleuse des Pléiades. Vue en partie par Tempel en 1859, et auparavant peut-être par Jeaurat (1779), signalée comme brillante par Tempel, comme très-pâle et difficile à voir par Chacornac, Peters, M. Pape, etc., complétement invisible à certaines époques pour d'Arrest, M. Schmidt, elle avait été présentée par d'Arrest en 1862 comme un quatrième exemple de nébuleuse variable. M. Goldschmidt, en 1864, l'avait aperçue tout entière et en avait donné un dessin à la plume dans le *Bulletin de l'Observatoire*, mais sans se prononcer sur la question de variabilité. Je l'ai cherchée en vain pendant longtemps ; la vision fugitive de quelques lambeaux, aperçus à diverses reprises par moi-même ou par mes assistants, m'avait fait adopter l'opinion de d'Arrest. Depuis le 22 novembre 1875, où je l'ai retrouvée en entier et telle que l'avait dessinée Goldschmidt, je l'ai suivie régulièrement, sans qu'il ait été possible d'y surprendre aucun changement. La faiblesse de sa lumière, qui se laisse éclipser par les vapeurs atmosphériques incapables d'éteindre les étoiles de 13e grandeur, suffit à expliquer l'opinion assez généralement admise de sa variabilité. J'en ai donné un dessin aussi exact que possible.

L'analyse spectrale montre, dans tout le groupe, des étoiles blanches, sans aucun accident particulier.

3° La partie la plus importante de mon travail est la détermination micrométrique des positions de 79 étoiles du groupe, rapportées à η Taureau par les différences d'ascension droite et de distance polaire, réduites au 1er janvier 1874.

L'observation des 53 étoiles de Bessel avait été faite à l'aide de l'héliomètre de Königsberg. Par une singulière circonstance, nous ne possédons pas en France l'instrument inventé par Bonguer. J'ai dû suppléer à l'emploi de cet instrument par celui du micromètre filaire, habituellement borné dans ses applications à la mesure de distances beaucoup plus petites que celles que j'avais à mesurer : la concordance générale de mes résultats avec ceux de Bessel, la vérification obtenue par la comparaison des mesures équatoriales avec quelques mesures directes de différences de distances polaires au grand

cercle méridien, montrent que le micromètre filaire, porté par un équatorial de grande stabilité, peut donner des résultats absolument comparables à ceux que fournit l'héliomètre, sous la condition d'en étudier avec grand soin la vis micrométrique. J'ai trouvé, entre des étoiles très-éloignées, les différences de distance polaire qui suivent :

	Obs. méridiennes.	Obs. équatoriales.	Équat.-mérid.
Anonyme 34 — Maïa....	+ 38′.45″,62	+ 38′.45″,51	− 0″,11
Anonyme 35 — Taygète..	+ 51. 5,70	+ 51. 5,78	+ 0,08
Anonyme 34 — Taygète..	+ 44.37,90	+ 44.38,04	+ 0,14

d'où il suit que les positions des étoiles les plus distantes ne peuvent être affectées d'une erreur supérieure à 0″,2.

Les différences d'ascension droite ont été déterminées par enregistrement électrique, l'emploi de ce procédé étant tout indiqué ici par le rapprochement des étoiles ; elles se succèdent dans le champ à des intervalles de temps qui n'auraient pas permis commodément l'application de la méthode d'observation par l'œil et l'oreille. La discussion des observations montre qu'elles ne peuvent être affectées d'aucune erreur sensible provenant d'un défaut de réglage des fils par rapport à la direction du mouvement diurne.

Les observations de différences de distance polaire et d'ascension droite étaient faites par zones successives de 10 minutes environ de hauteur, chaque zone empiétant de 5 minutes sur la zone inférieure et sur la zone supérieure. Un procédé de calcul fort simple, et qui revient à l'application de la méthode des moindres carrés, permet ensuite de relier toutes ces zones et de déduire de l'ensemble des déterminations la valeur la plus probable de la distance de chaque étoile à η Taureau. Les erreurs probables de ces déterminations sont les suivantes :

	Différence d'ascension droite.	Différence de distance polaire.
Erreur probable d'une détermination directe....	± 0″,060	± 0″,24
Erreur probable d'une détermination indirecte...	± 0,068	± 0,22
Erreur probable d'un résultat définitif.........	± 0,0067	± 0,027

D'après ces nombres, et d'après ceux que j'ai donnés plus haut, qui se rapportent aux cas les plus défavorables de mes observations, il m'était

permis d'en comparer les résultats avec les positions données par Bessel.

Il se manifeste immédiatement un désaccord systématique entre les deux tableaux réduits à la même époque sans tenir compte du mouvement propre d'aucune étoile. En valeur absolue, trente-neuf différences de distances polaires paraissent plus grandes d'après mes observations que d'après celles de Bessel, treize seulement sont plus petites. Pour les ascensions droites, on reconnaît des différences W-B généralement affectées du signe +, quarante positives contre dix négatives. Les différences sont les plus souvent petites et inférieures à 0,05, sauf huit exceptions. La discussion de ces résultats, leur comparaison dans les cas de plus grande discordance avec des différences mesurées directement à la lunette méridienne, font voir que la différence entre mes observations et celles de Bessel est bien réelle et ne peut être mise sur le compte d'une erreur systématique.

Le résultat le plus important qui s'en déduit alors est celui-ci. Toutes les étoiles du groupe sont rapportées à la plus belle d'entre elles, Alcyon ou η Taureau. Or la comparaison des observations méridiennes de cette étoile lui a fait reconnaître un mouvement propre, bien établi et de plus irrégulier. Si l'on tient compte dans la réduction à 1874 de ce mouvement, il en résulte un désaccord complet entre les observations de 1840 et celles de 1874 Il faut donc conclure de là *l'existence d'un mouvement général du groupe qui entraîne toutes les étoiles dans le même sens que η Taureau.*

Sur ce mouvement commun, *qui établit un lien physique entre les étoiles des Pléiades,* viennent ensuite se greffer des déplacements particuliers soit à certaines régions, soit à certaines étoiles isolées. Ces déplacements, en général excessivement faibles, deviennent plus sensibles et plus certains pour des étoiles très-voisines, pour lesquelles les erreurs d'observation et de détermination sont nécessairement les mêmes. Les composantes de plusieurs de ces groupes, tels que les anonymes 8 et 9 de Bessel, les anonymes 31 et 32, exécutent un mouvement de révolution l'une autour de l'autre; le triangle figuré par trois belles étoiles voisines de η Taureau tend également à se déformer.

Les mouvements propres, ainsi que l'a remarqué Mädler, sont très-faibles dans la région du ciel où se trouvent les Pléiades. Ils sont beaucoup plus grands dans la région du Cancer : c'est pourquoi j'espère pouvoir déduire des résultats encore plus nets de la comparaison de mes observations de Præsepe avec celles de M. Winnecke, lorsque celles-ci auront été publiées, comme a bien voulu me le promettre leur auteur.

Recherches sur l'équation personnelle dans les observations de passages, sa détermination absolue, ses lois et son origine. (*Annales de l'Observatoire*, t. VIII des *Mémoires*, 1865; *Comptes rendus*, t. LX, p. 1268.)

L'équation personnelle, ses lois et son origine. (Note additionnelle au *Traité d'Astronomie pratique*, publié par M. C. André.)

Les déterminations de longitudes entreprises par l'Observatoire, les discussions auxquelles a donné lieu la comparaison des deux méthodes d'observation des passages, méthode de l'œil et de l'oreille, ou emploi des enregistreurs électriques, m'ont engagé dès le mois de juillet 1863 dans l'étude des erreurs qui affectent les déterminations de passages d'une étoile derrière les fils d'une lunette méridienne.

On désigne par le nom d'*équation* ou *erreur personnelle* dans les observations de passages la partie constante de l'erreur que commet un astronome dans l'appréciation de l'époque des passages d'un astre aux fils d'un instrument méridien. Les procédés ordinaires d'observation ne permettent de déterminer que la différence des équations personnelles, connaissance insuffisante pour la détermination des lois et la recherche de l'origine de l'équation personnelle.

Les premiers essais de détermination de la correction absolue remontent à Gauss en 1837. Depuis cette époque, des appareils ont été construits et des expériences réelles ont été faites par M. Hartmann de Rinteln (publiées en 1865), par MM. Plantamour et Hirsch à Neuchatel (1864), par moi-même à Paris, et par M. Kaiser à Leyde (1870). Le principe de ces appareils est toujours celui-ci : produire un astre artificiel passant derrière les fils d'une lunette à des époques connues d'une manière absolue, et comparer à ces époques celles que donne l'estime de l'observateur ou l'enregistrement électrique qu'il en fait. J'ai insisté sur ce point que, si l'appareil n'est pas destiné à une étude purement théorique, et doit donner les corrections absolues applicables aux observations réelles, il doit remplir cette condition fondamentale, que l'observation de l'astre artificiel s'y fasse dans des conditions absolument identiques à celles dans lesquelles a lieu l'observation réelle.

Le résultat le plus important qui ressort de mes expériences est celui-ci : que, par l'éducation, la correction personnelle d'un observateur est bientôt réduite à un minimum au-dessous duquel elle ne peut tomber, et par suite,

devient beaucoup plus constante. Les résultats obtenus par M. Hartmann et M. Kaiser ont confirmé cette loi.

Il est plusieurs éléments, en dehors de l'observateur, qui modifient la grandeur de cette correction. J'ai établi par les expériences faites sur moi-même les lois suivantes :

1° Le sens du mouvement de l'étoile a une influence marquée sur la grandeur de la correction personnelle. Ce genre d'erreur est identique à celui qu'on retrouve dans les pointés d'une étoile ou d'un trait entre deux fils, et doit avoir sa source dans une sorte d'astigmatisme de l'œil. C'est la partie *statique* de l'erreur personnelle.

2° Abstraction faite de cette erreur, ma correction ne varie pas sensiblement, quelle que soit l'inclinaison de la ligne suivie par l'étoile relativement à la ligne des yeux. Ce résultat n'est certainement pas général, mais je le considère comme un très-puissant argument en faveur du procédé d'éducation de l'œil au moyen d'un appareil spécial.

3° L'influence de la rapidité du mouvement de l'étoile avait été trouvée nulle par Bessel, mais à l'aide d'un procédé détourné; j'ai fait voir que la correction personnelle augmente avec la vitesse du mouvement.

4° Un grossissement trop faible augmente considérablement ma correction personnelle ; elle diminue quand l'oculaire devient plus fort, mais il est une limite qu'il est inutile de dépasser, la diminution devenant presque insensible.

On déduit de là les conditions les plus favorables à une bonne observation méridienne : ce sont précisément celles qu'une longue expérience a confirmées.

J'ai recherché ensuite l'origine de l'équation personnelle. Bessel admet que la différence des estimes des différents observateurs s'explique par la difficulté qu'on éprouve à comparer l'une à l'autre à un même moment les impressions reçues par deux organes différents, l'œil et l'oreille. M. Faye a admis la même explication.

J'ai été conduit à distinguer trois sortes d'équations personnelles :

1° L'équation supérieure à une seconde, dont la cause doit être dans une manière erronée de compter les battements;

2° L'équation personnelle ordinaire, à laquelle convient l'explication donnée par M. Bessel et M. Faye;

3° L'équation personnelle réduite à un minimum par l'éducation, où ne paraissent plus intervenir les deux sensations distinctes venant de l'extérieur.

J'ai en effet constaté sur moi-même, par un grand nombre d'expériences :

1° Que ma correction personnelle restait la même quand j'observais sur le bruit de la seconde, ou que la seconde était marquée par un éclair instantané dans le champ de la lunette ;

2° Qu'elle restait encore la même lorsque la seconde m'était communiquée par de légères commotions.

J'ai constaté qu'au contraire l'équation personnelle s'annule (sauf la partie statique), dès qu'on supprime le mouvement continu de l'étoile dans le champ de la lunette.

La cause de l'équation personnelle réside donc dans quelque propriété de l'œil, liée au mouvement continu du point lumineux observé, puisqu'elle existe encore quand l'œil intervient seul dans l'opération. L'explication de ce singulier phénomène doit dépendre de la manière dont l'œil peut être employé à la mesure du temps et de la limite de l'exactitude que nous donne cet organe.

La succession du temps ne peut devenir sensible à un quelconque de nos organes que par les changements successifs qui affectent la sensation du phénomène observé. Si nous regardons un objet dont la couleur varie rapidement, pour notre œil le temps pendant lequel sa couleur restera invariable sera un espace unique et indivisible. Or, si l'on remarque que l'impression sur la rétine dure un certain temps après qu'elle a été produite, on comprendra que, lorsque ces variations de couleur se succéderont de plus en plus rapidement, il arrivera un moment où la durée de chaque impression différente sera justement égale à la durée de la sensation lumineuse; et dès lors l'œil aura atteint la limite de sensibilité qu'il peut apporter à l'observation du temps, puisque, dans une succession plus rapide, toutes les couleurs se confondront et cesseront de produire la succession qui seule peut donner à l'œil la notion du temps. On sait que cette limite est à peu près de $0^s,1$.

Si la notion de la succession du temps est donnée à l'œil par les variations de position d'un point lumineux, nous viendrons nous buter encore à la même limite. Supposons ce point tournant très-lentement en cercle : l'œil pourra le saisir dans ses positions successives et fractionner par conséquent le temps total employé à parcourir le cercle. Si le mouvement devient plus rapide, le point lumineux sera vu, à chaque instant, non pas seulement dans la position qu'il occupe à cet instant, mais dans toutes les positions qu'il occupe *pendant que dure la sensation correspondant à ce point*, c'est-à-dire *en avant* de sa position réelle; et aussi dans toutes celles dont la sensation dure encore pour l'œil à cet instant, c'est-à-dire dans un intervalle

égal au premier *en arrière* de sa position réelle. Toutes ces positions sont simultanées pour l'œil ; il lui est donc impossible de subdiviser le temps de la rotation complète en fractions plus petites que celle qui correspond au *double de la durée* de la sensation lumineuse ; de sorte que, si le point pareourt le cercle entier en un temps égal au double de cette durée, le temps n'existe plus pour l'œil ; il se trouve en présenee d'un phénomène eontinu.

Ces réflexions nous font voir immédiatement que la durée de l'impression lumineuse doit néeessairement intervenir dans l'équation personnelle qui affeete l'observation d'un objet en mouvement. Ainsi, dans le cas précédent, il est bien elair que si deux observateurs voulaient noter, à un moment déterminé, la position oeeupée par le point lumineux, ils pourraient choisir l'une queleonque des positions qu'il occupe pendant un temps égal au double de la durée de l'impression ; s'ils ne choisissent pas la même, il y aura entre eux différence d'estime, différenee d'équation personnelle.

C'est par ces eonsidérations que j'ai été conduit à eonsidérer la durée de l'impression lumineuse comme la eause de l'équation personnelle réduite à son minimum par l'édueation, et dont l'observateur paraît ne pouvoir se débarrasser. Je lui donne le nom d'*équation physiologique*.

Des expériences directes, faites sur moi-même et sur plusieurs de mes collègues, m'ont permis de vérifier l'exactitude de l'explieation qui précède.

Quant à l'impression du son, d'après les expérienees de Helmholtz, elle dure moins d'un eentième de seeonde ; elle ne doit donc pas intervenir dans l'appréeiation de la position vraie de l'étoile, ee qui explique pourquoi j'ai trouvé mon équation personnelle constante, que la seeonde fût battue par la pendule ou par un éelair lumineux dans le champ de la lunette.

Bien que j'aie fait peu d'expérienees sur le procédé d'observation des passages par l'enregistrement électrique, j'ai pu eependant montrer que l'équation physiologique intervient aussi foreément dans ee mode d'observation et se eomplique même d'autres eauses d'erreur. Je considère ce proeédé comme très-utile toutes les fois qu'il s'agit d'observations rapides ou de l'appréeiation d'intervalles de temps très-petits, mais eomme inférieur à la méthode de l'œil et de l'oreille dans les autres eas.

Depuis la publieation de mon premier Mémoire sur l'équation personnelle, j'ai fait construire l'appareil définitif dont il eontenait la deseription, et je l'ai appliqué, d'abord à l'édueation de plusieurs de mes jeunes eollègues de l'Observatoire, puis à l'étude des passages des planètes. Le P. Seeehi et M. Fergola ont aussi employé avee succès mes appareils pour

la détermination de leurs équations personnelles, dans les opérations relatives à la détermination de la différence de longitude entre Naples et Rome. Un appareil semblable a été construit, d'après mes indications, pour l'Observatoire de Lisbonne par M. A. Bréguet.

Recherches sur les apparences singulières qui ont souvent accompagné l'observation des contacts de Mercure et de Vénus avec le bord du Soleil. (En commun avec M. C. André.) *Recueil des Mémoires et Documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil*, p. 115. — *Annales de l'Observatoire*, t. X des *Mémoires*, p B_1. — *Comptes rendus*, 1869, t. LXVIII, p. 181 et 585.

Les apparences singulières qui se sont présentées dans les observations des passages de Vénus au siècle dernier, et dans la plupart des passages de Mercure sur le Soleil, ont laissé bien des incertitudes sur la détermination exacte des moments des contacts, et par suite sur la valeur de la parallaxe solaire qui s'en déduit. Il importait, pour tirer du prochain passage de Vénus sur le Soleil des résultats moins douteux, d'élucider la question très-controversée de l'origine de la goutte noire, du ligament noir. L'observation du passage de Mercure du 4 novembre 1868 fit voir que les astronomes n'étaient guère plus avancés aujourd'hui que ne l'étaient ceux du siècle dernier, puisque, entre les temps observés du contact interne, réduits au centre de la Terre, se trouvent des différences s'élevant à 39 secondes.

La discussion de toutes ces observations nous a fait reconnaître cependant que, si l'on élimine toutes celles où le contact a été accompagné d'apparences singulières, pour conserver seulement celles où le contact s'est produit *géométriquement*, les temps observés *à l'aide d'instruments de suffisante ouverture* s'accordent très-bien entre eux. Les divergences devaient donc être attribuées à l'emploi d'instruments optiques de qualités très-différentes; et nous entreprîmes de résoudre les questions suivantes :

1° Quelle est l'origine de la goutte ou du ligament noir?

2° L'apparition ou la disparition de la goutte marque-t-elle l'instant du contact réel?

3° Si cette goutte est un phénomène anormal, quelles sont les conditions à remplir pour s'en débarrasser?

4° Quel degré d'approximation peut-on espérer atteindre dans l'observation des contacts de Vénus avec le Soleil?

Le ligament noir a été généralement, depuis Lalande, considéré comme dû à l'irradiation oculaire. Nous avons montré, par des expériences directes, et aussi par une application des expériences de L. Foucault sur le pouvoir optique des objectifs : 1° que l'irradiation n'existe pas dans les lunettes; 2° que, lors même qu'elle existerait, la formation du ligament noir ne coïnciderait pas rigoureusement avec le moment du contact géométrique des bords vrais.

Des expériences directes, au moyen d'une mire mobile représentant le disque de Vénus marchant sur le disque du Soleil, nous ont montré ensuite que le ligament noir se forme, lorsque les bords se rapprochent, bien avant le contact de ces bords; qu'il se rompt brusquement lorsque les bords s'éloignent l'un de l'autre et sont arrivés à une distance qui peut dépasser une seconde d'arc. Ces phénomènes se produisent dès qu'on se place dans les conditions d'observation des astronomes de 1769 : nous avons fait usage d'une lunette de Dollond, diaphragmée à 6 centimètres.

Si l'on observe la même mire à l'aide d'un objectif bien dépouillé d'aberration de sphéricité (objectif ou miroir argenté de L. Foucault), le phénomène du contact se produit avec une simplicité géométrique, et il est possible, dans de bonnes conditions atmosphériques, de déterminer le moment du contact avec une précision presque absolue.

Si l'on fait usage d'un objectif, même d'une grande ouverture, mais affecté d'aberration, et que l'on mette l'oculaire au point sur le véritable foyer, l'image de la planète est lavée de lumière sur tout son contour; il en est de même du fond du ciel au voisinage du bord du Soleil. Il résulte de là que, bien avant le contact géométrique, la lumière du filet qui sépare le disque de la planète du bord du Soleil s'affaiblit beaucoup; une sorte de ligament sombre réunit ce disque et ce bord, et il en résulte une incertitude sur la détermination du moment du contact géométrique, d'autant plus grande que l'aberration est plus prononcée.

Si, avec ce même objectif, l'observateur cherche à obtenir une image de la planète également noire dans toute son étendue, et peut-être plus satisfaisante à l'œil que la première, il met l'oculaire au point sur le *plan d'aberration minima*. Dans ce cas, l'image apparente du Soleil est agrandie, l'image de la planète est diminuée, en vertu d'un phénomène géométrique, exactement de la même manière que dans l'hypothèse de l'irradiation; et bien avant le contact, quand les bords se rapprochent, le ligament noir se produit.

Le ligament noir est donc un phénomène étranger, introduit par les

défauts de l'objectif et une mise au point défectueuse. Toutes les observations dans lesquelles il a été vu doivent être rejetées.

Pour s'en débarrasser, il suffit d'observer à l'aide d'un objectif bien dépouillé d'aberration et d'une ouverture suffisante.

Des expériences faites, à la distance de 1300 mètres, entre le Luxembourg et l'Observatoire, nous ont montré qu'avec un bon objectif, de 20 centimètres au moins d'ouverture, le moment du contact peut être estimé avec une précision presque absolue.

Ces dernières expériences ont été reprises par nous en 1872, sous le patronage et avec l'aide de la Commission chargée par l'Académie de préparer l'expédition pour l'observation du passage de Vénus, et elles nous ont conduit aux conclusions suivantes :

1° Une éducation spéciale est nécessaire pour amener un observateur à estimer d'une manière constante le phénomène des contacts. Cette éducation se fait rapidement à l'aide de notre appareil; mais il persiste entre les différents observateurs des différences assez constantes, et considérables surtout dans l'estime du moment des deux contacts extérieurs.

2° Un observateur exercé peut, par des circonstances atmosphériques favorables, et à l'aide d'un objectif suffisamment parfait et d'environ 20 centimètres d'ouverture, apprécier les contacts intérieurs avec une approximation de $\frac{1}{10}$ de millimètre à 1300 mètres, soit $\frac{1}{60}$ de seconde d'arc, ou $\frac{2}{10}$ de seconde de temps.

3° Un grossissement de cent à deux cents fois est suffisant pour cette observation; il n'y a aucun intérêt à le prendre plus fort.

4° Les ondulations des images produites par l'atmosphère rendent l'observation plus difficile et moins précise. Mais, à moins de circonstances très-défavorables, l'erreur commise ne dépasse pas quatre ou cinq secondes de temps sur le moment des contacts intérieurs.

5° Si l'objectif a une ouverture moindre que 15 centimètres, et surtout s'il est affecté d'aberration, le filet lumineux qui sépare la planète du bord du Soleil s'assombrit dès qu'il est suffisamment mince, et il peut en résulter des erreurs considérables sur l'appréciation du contact.

La connaissance de ces conditions d'une bonne observation devait permettre d'obtenir, dans l'observation des contacts au prochain passage de Vénus, la précision nécessaire à la détermination d'une valeur exacte de la parallaxe solaire.

La Commission du passage de Vénus a bien voulu approuver les conclusions de ce Mémoire et faire construire les objectifs à grande ouverture que

nous demandions pour l'observation du passage. J'ai été chargé d'en surveiller la construction.

Sur ma proposition, la Commission a ordonné l'emploi de l'argenture de ces objectifs. Une Note insérée à la fin du Mémoire (p. 169) indique les procédés par lesquels on peut obtenir la mise au point des micromètres et la détermination du tour de vis avec ces instruments. Une autre Note (p. 164) est relative au pouvoir optique des objectifs, dont la loi, posée par L. Foucault, a été vérifiée de nouveau par nous dans nos expériences entre le Luxembourg et l'Observatoire.

En 1873, j'installai, sur la terrasse de l'Observatoire, un appareil qui, vu du Luxembourg, représentait en vraie grandeur le passage de Vénus sur le Soleil. Les missionnaires de l'Académie y vinrent successivement faire leur éducation pour l'observation des contacts.

Il importe maintenant de rapprocher de nos prévisions les résultats obtenus au moyen des objectifs de 21 centimètres. J'extrais des *Comptes rendus de l'Académie* les appréciations des observateurs du Japon, de Pékin et de Saint-Paul.

M. Janssen écrit : « Dans l'équatorial de 8 pouces, dont la lunette est très-bonne, l'image de Vénus se montre très-ronde, bien terminée, et la marche relative du disque de la planète, par rapport au disque solaire, s'exécute géométriquement sans aucune apparence de ligament ni de goutte. »

M. Fleuriais : « Deuxième contact. Au 6 pouces, M. Bellenger aperçoit un léger ligament ; au 8 pouces, je ne vois que quelques franges. Troisième contact, franges plus marquées qu'au deuxième contact. »

M. Mouchez, à Saint-Paul, vit également un contact géométrique, mais modifié dans son apparence par l'atmosphère de la planète, dont M. Janssen a noté également l'influence sur la durée du contact.

Il suffit de comparer ces résultats à ceux qu'ont donnés les instruments plus petits employés par les astronomes étrangers pour se convaincre de l'avantage des grandes ouvertures dont nous avions préconisé l'emploi. (*Report by the astronomer royal, sir G.-B. Airy, on the telescopic observations of the transit of Venus*, 1874.)

Le *Recueil des Mémoires et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil* contient, en outre du Mémoire précédent, plusieurs Notes présentées à la Commission de l'Académie :

1° *Projet d'appareil photographique pour l'observation du passage de Vénus*, p. 271. (En commun avec M. Ad. Martin.)

2° *Sur la précision que pourra donner l'appareil précédent*, p. 324.

3° *Rapport sur les mesures micrométriques directes à faire pour l'observation du passage de Vénus*, p. 337. (MM. Y. Villarceau et Wolf)

4° *Rapports sur les miroirs plans en verre argenté, exécutés par M. Ad. Martin, pour la Commission du passage de Vénus*, p. 453.

5° *Le passage de Vénus sur le Soleil.* Conférence faite à la *Société des Amis des Sciences*, p. 377.

Sur la marche d'une horloge astronomique dans le vide ou dans l'air sec. (Résultats communiqués au Conseil de l'Observatoire dans sa séance du 2 juin 1870.)

On a proposé depuis longtemps de renfermer les horloges astronomiques dans une enceinte hermétiquement close, dans laquelle il serait possible de faire le vide ou d'introduire un gaz sec, sans action sur les pièces métalliques et les huiles du rouage. On pensait obtenir ainsi le double avantage de soustraire l'horloge aux variations de marche résultant soit de la variation de la pression barométrique, soit de l'oxydation et de l'épaississement des huiles.

Chargé en 1866, par M. le Directeur de l'Observatoire, de l'étude de la question du réglage de toutes les pendules de l'établissement par une horloge type placée dans les caves et ainsi maintenue à température constante, j'ai eu l'occasion de réaliser l'ancienne idée dont je viens de parler, et j'ai été conduit à un résultat que je crois entièrement nouveau : c'est la nécessité, pour la bonne marche d'une horloge, d'entretenir ses organes dans un état d'humidité constant, et l'impossibilité de la faire marcher dans l'air sec ou dans le vide.

L'horloge sur laquelle étaient faits les essais a été construite par M. Winnerl, et elle est munie d'un appareil très-délicat pour l'interruption, à chaque seconde, d'un courant électrique. Placée dans une boîte en tôle et fonte de fer, dont l'air était desséché par de la chaux vive, elle s'arrêta au bout de quelques jours; il suffit pour la remettre en marche d'y laisser rentrer l'air humide. L'examen des vitesses variables par lesquelles passe le dernier mobile de l'interrupteur pendant la période qui précède l'arrêt, et celui des surfaces frottantes des engrenages, nous a fait voir que l'humidité de l'air agit sur ces surfaces comme un véritable lubrifiant, de sorte que

l'introduction d'une quantité de vapeur d'eau plus grande augmente la vitesse de dégagement du dernier mobile. A mesure que l'air se dessèche, cette vitesse diminue : l'encrassement des surfaces frottantes, par la dessiccation, produit une adhérence que ne peut vaincre le poids moteur. Si l'on augmente celui-ci, la marche peut continuer; mais, les surfaces en contact se nettoyant mutuellement par le frottement, on arrive bientôt à faire frotter métal contre métal sans aucun intermédiaire : d'où peuvent résulter des grippements, et à tout le moins une usure préjudiciable au bon fonctionnement des organes.

Dans les conditions ordinaires d'une horloge enfermée dans une boîte en bois, les variations d'humidité de l'air se traduiront par des variations dans la marche de la pendule, par suite des variations dans la force d'impulsion.

J'ai résolu la difficulté en entretenant l'air intérieur de la cage de la pendule des caves à un degré constant d'humidité, par l'introduction dans cette cage d'une certaine quantité de phosphate de soude cristallisé, qui, d'après les expériences de M. Debray, possède, à température constante, une tension de vapeur d'eau constante (tension de dissociation). Depuis plus de sept années, la pendule des caves fonctionne dans l'air ainsi entretenu humide, et les surfaces d'acier poli n'ont souffert aucune altération.

Sur la scintillation des étoiles. Mémoire présenté au Bureau des Longitudes le 8 avril 1868. (*Comptes rendus*, 1868, t. LXVI, p. 792 et 1051.)

L'observation des spectres des étoiles m'a fait connaître quelques phénomènes qui m'ont paru confirmer l'explication de la scintillation donnée par Arago. Si l'on observe, par un temps très-calme, le spectre de Sirius, on voit, dans une position déterminée du plan de dispersion qui diffère de la verticale et reste la même pendant un temps assez long, courir sur le spectre, du rouge vers le violet, une série de larges bandes sombres transversales qui se succèdent avec une grande rapidité et avec une régularité parfois surprenante. L'aspect du phénomène rappelle immédiatement, à la largeur des bandes près, les spectres cannelés de l'expérience capitale de MM. Fizeau et Foucault sur les interférences des rayons ayant des différences de marche considérables; en outre, des traits de lumière parcourent rapidement toute la longueur du spectre.

Si l'on fait tourner le spectroscope autour de son axe, le mouvement

progressif des bandes semble se transformer en un mouvement hélicoïdal qui les emporte généralement du rouge vers le violet.

La scintillatiou de Vénus à l'horizon présente les mêmes caractères.

Une étoile plus élevée au-dessus de l'horizon donne des bandes de moins en moins nombreuses; il n'est plus de position du prisme pour laquelle elles soient rigoureusement transversales et occupent toute la largeur de l'image. Enfin le phénomène peut se réduire à des stries longitudinales. C'est aussi ce qui a eu lieu pour une étoile basse, lorsque l'air est agité et les étoiles ondulantes.

J'ai fait voir que ces phénomènes s'expliquent aisément par l'interférence des rayons de même longueur d'onde ayant traversé des couches d'air inégalement denses. La marche régulière des bandes obscures transversales du rouge vers le violet est une conséquence de ce fait que, dans un air parfaitement calme, la différence de densité des couches traversées par les deux moitiés du faisceau qui interfèrent va en diminuant progressivement avec le temps. C'est en effet ce qui doit avoir lieu le soir, lorsque la différence de température entre le sol et les couches supérieures de l'air tend à s'annuler.

J'ai discuté, dans ce même Mémoire, la théorie proposée par M. Montigny, et j'ai fait voir qu'elle ne se prête pas aussi bien que celle d'Arago à l'explication des phénomènes que j'avais observés.

M. Respighi a publié postérieurement (10 mai 1868 et 14 février 1869) des observations analogues aux miennes, et en a déduit une théorie différente de la scintillation : je ne crois pas cependant que la théorie d'Arago doive être abandonnée, au moins en ce qui regarde les traits principaux du phénomène. Il me paraît probable que l'interférence des rayons lumineux qui ont traversé des couches d'air de densités diverses et le rejet de certains rayons en dehors du champ de la lunette par une réfraction irrégulière dans ces mêmes couches sont deux phénomènes concomitants, qui interviennent à la fois pour produire la scintillation des étoiles.

Description du sidérostat de L. Foucault. (*Annales Scientifiques de l'École Normale*, 2e série, t. Ier, p. 51 à 84; 1872. — *Comptes rendus*, 13 décembre 1869, t. LXIX, p. 1222.)

Je me bornerai à rappeler l'énoncé du théorème sur lequel j'ai basé la théorie du sidérostat considéré comme instrument astronomique.

« Si, par le point d'articulation de la fourchette avec l'axe horaire, on mène un plan perpendiculaire à la direction constante du rayon réfléchi, le lieu des points où la tige directrice du miroir vient percer ce plan est la *projection stéréographique* sur le plan du lieu des extrémités de la fourchette. »

Ce théorème permet, dans chaque cas particulier, de reconnaître d'une manière simple le mouvement en apparence assez compliqué du miroir, et de déterminer, par de simples changements de perspective, l'influence des erreurs de construction ou de réglage de l'appareil.

J'ajouterai une remarque sur l'emploi du sidérostat comme instrument astronomique. Quelques personnes ont vu une objection à son emploi pour les observations de position relative des planètes ou des étoiles doubles dans cette circonstance, que le micromètre de la lunette ne suit pas les changements de direction du mouvement diurne. J'ai été amené par l'étude réfléchie des conditions d'une bonne observation à penser que cette circonstance constituait tout au contraire une qualité du sidérostat et en faisait le véritable instrument de l'avenir pour l'étude des étoiles doubles. En effet, l'une des grandes difficultés de cette étude est la détermination des angles de position, dont l'origine est toujours mal déterminée avec un équatorial par suite des flexions de l'instrument. Dans le sidérostat, l'indépendance du micromètre, dont les fils peuvent être rendus soit horizontaux, soit verticaux, avec une précision géométrique, rend cette origine complétement indépendante de la flexion de toutes les pièces mobiles de l'appareil.

Cette même considération m'avait amené à regarder le sidérostat comme le véritable instrument à employer pour l'observation photographique du passage de Vénus. La Commission de l'Académie a fait construire, pour ces observations, cinq sidérostats sur le modèle simplifié que je lui avais présenté.

Expériences photométriques. — Sur le pouvoir réflecteur des miroirs en verre argenté. (*Comptes rendus*, 12 février 1872. — *Journal de Physique* de M. d'Almeida, t. Ier, p. 81.)

L'usage de plus en plus fréquent des miroirs en verre argenté dans les instruments astronomiques donne un grand intérêt à la question de savoir quelle proportion de la lumière incidente utilisent ces miroirs. J'avais, en

outre, à justifier l'emploi du sidérostat contre une objection tirée de la variation d'incidence sous laquelle sont reçus les rayons que le miroir réfléchit dans une direction constante. Des expériences photométriques, entreprises à l'aide d'un appareil présentant quelques particularités nouvelles, m'ont permis de constater :

1° Qu'un miroir argenté à neuf par le procédé de M. Ad. Martin réfléchit les 0,935 de la lumière incidente ;

2° Que cette proportion de lumière réfléchie reste constante, quelle que soit l'incidence, de 10 à 80 degrés ;

3° Qu'un miroir argenté depuis plus de deux années et poli au tampon réfléchit encore en moyenne 0,87 de la lumière incidente;

4° Que, par deux réflexions successives sur des miroirs placés sous l'angle de 45 degrés, la quantité de lumière utilisée est réduite à 0,86 quand les plans de réflexion sont parallèles, à 0,82 quand les plans de réflexion sont perpendiculaires. De plus, dans ce cas, la lumière réfléchie prend une teinte jaune très-prononcée.

J'ai pu appliquer le même photomètre à la mesure de la quantité de lumière transmise par un objectif, mesure qui n'avait pas été faite directement jusqu'ici à ma connaissance. J'ai trouvé 0,80 pour un objectif à verres indépendants, 0,90 pour un objectif formé de deux verres collés au baume de Canada ; d'où l'on conclut que la perte de lumière provient en presque totalité des réflexions sur les surfaces de l'objectif.

ANALYSE SPECTRALE.

Sur les spectres des métaux alcalins. (En collaboration avec M. Diacon) (*Mémoires de l'Académie de Montpellier, Comptes rendus*, t. LV, p. 334-336 ; *Revue des Sociétés savantes*, 5 juillet 1862).

Les expériences que j'ai faites, avec M. Diacon, à la Faculté des Sciences de Montpellier, ont donné le premier exemple de la variation qu'éprouve le spectre d'une vapeur métallique incandescente lorsque sa température s'élève, variation qui a été reconnue depuis dans les spectres de la plupart des corps. Elles ont fait cesser, en outre, une anomalie que présentait le sodium, et qui en faisait le seul corps dont la lumière pût être considérée comme monochromatique.

Nous avons reconnu, en effet, qu'à une température élevée le spectre du

sodium présente non plus seulement la double raie D, mais une série de six lignes, dont quelques-unes présentent une assez grande intensité. Ces lignes apparaissent toujours, pourvu que la température soit suffisamment élevée, quel que soit le composé de sodium que l'on chauffe et dans quelque milieu que se produise l'incandescence.

Nous avons obtenu des résultats semblables pour le potassium et le lithium, et donné une méthode générale pour obtenir la flamme des métaux volatils à une très-haute température.

Les résultats que nous avons obtenus sur le sodium peuvent aujourd'hui recevoir peut-être une application dans la recherche de la température du Soleil. Nous avons constaté, en effet, que les lignes du sodium autres que la double raie D n'existent pas parmi les raies du spectre solaire : il faudrait donc en conclure que, dans les portions de la chromosphère où l'on a constaté la double raie brillante du sodium, la température n'est pas assez élevée pour donner les autres lignes.

Sur le spectre de l'étoile variable de la Couronne (*Comptes rendus*, mai 1866). — *Description d'un nouveau spectroscope* (*Comptes rendus*, 1867, t. LXV, p. 292). — *Découverte de trois étoiles dont le spectre présente des lignes brillantes* (*ibid.*). — *Sur le spectre de la comète de Winnecke*, 1868 (*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1336). — *Analyse spectrale de la lumière de quelques étoiles et de la comète de Winnecke* (*Comptes rendus*, 1869, t. LXVIII, p. 1470). — *Sur la lumière de la comète de Winnecke* (Comète I, 1870), en commun avec M. Rayet (*Comptes rendus*, 4 juillet 1870, t. LXXI, p. 49). — *Sur le spectre de la comète III*, 1873 (*Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 529). — *Sur la comète de Coggia* (*Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 369). — *Observations de la comète Borrelly* (*Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 372). — *Observations des comètes II et III*, 1877 (*Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 929).

Nos recherches spectroscopiques ont été entreprises à l'Observatoire, à l'occasion de l'apparition de l'étoile variable de la Couronne, signalée par M. Courbebaisse en 1866. L'existence, dans le spectre de cette étoile, de lignes brillantes dont nous pûmes, M. G. Rayet et moi, donner les positions approchées, indiquait la cause de cette augmentation d'éclat d'une étoile, passée subitement de la onzième à la première grandeur; un effroyable cataclysme s'était produit, qui avait enveloppé l'astre d'une atmosphère

d'hydrogène incandescent. L'étude de l'étoile, suivie jusqu'au jour où sa lumière s'est trouvée trop faible pour donner un spectre visible, nous a fait voir que les lignes brillantes ont persisté jusqu'à la fin, si bien qu'elles étaient seules perceptibles lors de la disparition du spectre. Un phénomène tout autre a caractérisé l'étoile nouvelle du Cygne, découverte par M. Schmidt en octobre 1876; les lignes brillantes se sont éteintes les premières avant le spectre continu, fait intéressant, qui semble n'avoir été remarqué par aucun autre observateur et qui indique, dans l'atmosphère de l'étoile du Cygne, une succession de phénomènes tout autre que dans l'étoile de la Couronne.

Après avoir reconnu l'existence des lignes brillantes dans le spectre de la variable de la Couronne, nous avons entrepris, M. G. Rayet et moi, la recherche d'étoiles semblables dans le ciel. Une seule, γ de Cassiopée, d'après la découverte du P. Secchi, présentait constamment une ligne brillante, la ligne F de l'hydrogène. Mais les spectroscopes généralement usités pour l'analyse de la lumière ne se prêtant que difficilement aux recherches sur des astres de position inconnue, j'ai dû adopter une nouvelle combinaison qui permît de substituer instantanément l'appareil spectroscopique à l'oculaire ordinaire d'un télescope ou d'une lunette, de manière à faciliter la détermination de la position de l'astre, lors même qu'on ne fait pas usage d'un équatorial.

J'ai donné, dans les *Comptes rendus* (t. LXV, p. 282; 1867), la description de ce nouveau spectroscope, qui présente cette particularité de ne contenir ni fente, ni lentille cylindrique, et de donner cependant un spectre très-net et dilaté en largeur de la lumière d'une étoile. Il est fondé sur l'existence des lignes focales de Dupin et de Sturm. Lorsque les rayons lumineux homogènes, issus d'un point ou normaux à une même surface, ont traversé une série de surfaces réfringentes, ils sont encore normaux à une même surface. Si l'on ne considère qu'une portion très-petite de cette surface, l'ensemble des rayons considérés comme normaux au premier système de lignes de courbure de la surface iront passer par un petit espace dont une des dimensions est infiniment petite par rapport à l'autre. Il en est de même pour les rayons regardés comme normaux au second système de lignes de courbure : tous les rayons, à deux distances différentes de la surface, iront donc passer par deux petits espaces que l'on peut confondre avec deux droites perpendiculaires l'une sur l'autre.

Si l'ensemble des surfaces réfringentes forme un prisme dont la section droite contient l'axe du faisceau incident, il est évident que l'une des droites est dans cette section, l'autre perpendiculaire à cette même section. Dans

le cas d'un faisceau de lumière composée, on obtiendra donc derrière le prisme deux spectres : le premier, linéaire, formé de petites lignes placées bout à bout et en partie superposées, n'offrira aucune pureté et ne présentera aucune raie, lors même qu'on le dilatera à l'aide d'une lentille cylindrique. Le second, au contraire, produit par la dispersion d'une ligne perpendiculaire à la section droite du prisme, présentera les raies avec une pureté parfaite, et aura par lui-même une largeur finie.

L'expérience a confirmé cette déduction théorique. Un prisme à vision directe, placé entre le miroir d'un télescope et le foyer, et très-près de ce foyer, donne, de la lumière d'une étoile, un spectre très-pur, que l'on peut examiner directement avec l'oculaire ordinaire de l'instrument. Il suffit donc de monter le prisme à charnière pour pouvoir à volonté observer directement l'étoile ou en voir le spectre.

J'ai montré dans la même Note comment, sans appareil micrométrique, on peut, avec ce spectroscope, déterminer la position des raies inconnues du spectre d'une étoile, par la comparaison des temps de leur passage derrière un fil au temps du passage d'une ligne connue d'une autre étoile.

C'est au moyen de cet appareil que j'ai été assez heureux pour découvrir, dans la Constellation du Cygne, trois petites étoiles très-voisines, dont les spectres offrent des lignes brillantes, dont la photosphère est par conséquent dans un état intermédiaire entre celui des nébuleuses et celui du Soleil ou des étoiles ordinaires. Cet état paraît d'ailleurs continu, ainsi qu'il résulte des observations du P. Secchi et des miennes propres, en mai 1870. On ne connaît encore aujourd'hui que trois autres étoiles présentant dans leurs spectres des lignes brillantes : ce sont γ de Cassiopée, β de la Lyre et η d'Argo.

Nous avons catalogué en outre, M. Rayet et moi, un assez grand nombre d'étoiles dont les spectres offrent les cannelures qui caractérisent celui de α d'Hercule.

J'ai étudié, depuis 1868, la lumière de toutes les comètes suffisamment brillantes pour donner un spectre visible.

Le spectre des comètes se compose ordinairement de deux parties, un spectre linéaire continu ou presque continu, et trois bandes transversales. La ligne brillante, spectre du noyau, indique que celui-ci n'est pas à l'état gazeux. Nous avons reconnu de plus dans la comète de 1870 que la lumière de ce noyau est, au moins en grande partie, empruntée au Soleil : elle était, en effet, très-sensiblement polarisée dans un plan passant par le Soleil. Cette polarisation était facile à distinguer de la polarisation atmosphérique (déjà

très-sensible, puisque la comète se voyait à l'orient peu avant le lever du Soleil), en employant la précaution grâce à laquelle M. Prazmowzki a pu, dès 1860, démontrer la polarisation de la lumière de la couronne dans les éclipses du Soleil.

La lumière de la chevelure donne trois bandes; la plus brillante est voisine du groupe b du magnésium, la deuxième plus pâle est dans le jaune, la troisième, très-faible en général, se trouve un peu au delà de la raie F dans le bleu. Depuis que j'ai fait remarquer, en 1868, l'analogie, pour ne pas dire l'identité, des spectres de la matière nébuleuse des comètes, toutes celles que l'on a observées, depuis la plus faible jusqu'à la brillante comète de Coggia, ont donné les trois bandes jaune, verte et bleue. Cette identité des spectres des différentes comètes, leur différence au contraire avec les spectres des nébuleuses proprement dites, sont des caractères précieux qui permettront sans doute un jour de déterminer la nature et l'origine de ces astres singuliers.

En même temps que nous suivions les variations de la lumière pendant le développement de la brillante comète de Coggia, M. Rayet a fait, d'après nos observations communes, une série de dessins représentant ses transformations successives jusqu'au jour où il est devenu impossible de l'observer. M. Faye a bien voulu les juger assez intéressants pour les faire figurer dans le portefeuille d'Astronomie de l'École Polytechnique.

SÉLÉNOGRAPHIE.

J'ai fait, avec M. Rayet, un assez grand nombre de photographies de la Lune. Le résultat le plus intéressant auquel nous soyons arrivés est relatif à l'éclipse de Lune du 4 octobre 1865. Pendant qu'en Angleterre M. Warren de la Rue ne pouvait obtenir une image photographique de la pénombre, nous l'obtenions très-facilement à Paris, à l'aide du télescope de L. Foucault, de $0^m,20$ d'ouverture, par une exposition d'une seconde. (*Bulletin international de l'Observatoire;* 1865, novembre, samedi 25.)

Observation du cratère Linné (*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 1240, 17 juin 1867).

J'ai pris part, en 1867, à la discussion que venait de soulever entre les astronomes la proposition émise par M. Schmidt, d'Athènes, que des chan-

gements récents s'étaient produits sur la Lune dans le petit cratère de Linné.

Mes observations, faites à l'aide du télescope de $0^m,40$ de L. Foucault, et l'examen comparatif des cartes de Beer et Madler, de Lorhman, des photographies de M. Warren de la Rue, de Rutherfurd, et du tableau de la Lune peint par Labire, qui se trouve à la bibliothèque Sainte-Geneviève, m'ont amené à cette conclusion que, si l'on veut affirmer la variabilité du cratère de Linné, il faut la faire remonter peut-être jusqu'au temps de Lahire. Les observations que j'ai continué à faire de cet intéressant objet m'ont confirmé dans la pensée que les changements aperçus peuvent tous être attribués à la variation d'éclairement résultant des positions relatives de la Lune et du Soleil.

Je terminerai cette analyse par l'indication de quelques perfectionnements que j'ai introduits dans les instruments de l'Observatoire ou dans les méthodes d'observation, et de quelques autres travaux qui sont restés inédits ou ont été publiés dans les *Annales de l'Observatoire* (*Observations*).

Examen des divisions du nouveau cercle méridien de Secrétan-Eichens. (En commun avec MM. Stephan et Barbier.) (*Annales*, t. XIX, p. 58.)

Description d'une méthode de détermination des constantes instrumentales du cercle mural de Gambey. (*Annales*, t. XIX, p. 36.)

Sur un mode d'éclairage propre à obtenir des fils brillants sur champ obscur dans les collimateurs du cercle méridien. (*Annales*, t. XXI, p. 4.)

Application des tubes de Geissler à l'éclairage des fils du micromètre de l'équatorial.

Projet de construction d'un comparateur des règles géodésiques et des étalons de mesure, fait sur la demande de M. le Directeur de l'Observatoire en 1863.

Recherches historiques sur la pyramide de Villejuif.

Rapport à M. le Ministre de l'Instruction publique sur le réglage des horloges de la ville de Paris par l'électricité (1866).

Sur la différence de longitude entre Naples et Rome, déterminée au moyen de trois chronomètres de M. Winnerl (1867). — Le résultat de cette détermination, qui coïncide avec celui qu'ont donné récemment le P. Secchi et M. Fergola, n'a pas été publié, parce que, dès cette époque, ces astronomes faisaient les préparatifs d'une détermination directe.

PHYSIQUE.

De l'influence de la température sur les phénomènes qui se passent dans les tubes capillaires. (*Comptes rendus*, 1856, t. XLII, p. 968. — *Thèse originale de Physique*, 1856. — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLIX.)

La loi suivant laquelle doit avoir lieu la variation de hauteur de la colonne soulevée dans un tube capillaire avec la température, a été déduite par Laplace et par Poisson de leurs théories, mais seulement pour les liquides qui mouillent les tubes. De cette hypothèse, que le liquide adhère alors aux parois du tube et y forme une gaîne cylindrique, dans laquelle s'élève le reste de la colonne capillaire, découle cette conséquence, que la forme de la surface libre reste la même à toute température, et l'angle de raccordement de la surface du liquide et de celle du tube également constant; d'où la conclusion que la hauteur de la colonne liquide soulevée est en raison de la densité du liquide.

Des expériences assez nombreuses, mais trop peu exactes, si l'on en excepte celles de M. Brünner, avaient fait voir que la hauteur à laquelle s'élève un liquide dans un tube capillaire qu'il mouille décroît plus rapidement que ne le voudrait la théorie, quand la température augmente. La densité n'intervient donc pas seule comme élément du phénomène, mais on ne s'était pas préoccupé de rechercher la cause de ce désaccord.

Je me suis donc occupé :

1° De vérifier la loi empirique du décroissement de la hauteur capillaire avec la température ;

2° De rechercher la cause de la divergence de la théorie mathématique et de l'expérience ;

3° D'établir, s'il était exposé, la liaison des phénomènes d'ascension et de dépression, alors complétement isolés les uns des autres.

La netteté parfaite de l'intérieur des tubes sur lesquels on opère est une condition capitale de l'exactitude des observations. J'ai établi par expérience le caractère auquel se reconnaît cette netteté, caractère auquel M. Valson a été conduit plus tard par la théorie mathématique : il faut qu'après aspiration ou après dépression le liquide revienne exactement au même point.

Les expériences faites sur l'eau pure et privée d'air m'ont fait voir que, de 10 à 80 degrés, le décroissement de la hauteur est proportionnel à la température ; au-dessous de 10 degrés, l'influence du maximum de densité se fait sentir et la loi du décroissement ne peut être représentée que par une formule parabolique.

La loi du décroissement varie d'un tube à un autre.

L'éther sulfurique, observé en vase clos jusqu'à 99 degrés, donne des hauteurs qui décroissent proportionnellement à la température.

Ce décroissement rapide de la hauteur capillaire d'un liquide, quand la température s'élève, faisait prévoir un résultat très-singulier et complétement en désaccord avec la théorie de Laplace, que je n'ai pas manqué de vérifier. D'après cette théorie, la densité d'un liquide ne devenant jamais nulle, la hauteur capillaire ne pouvait devenir nulle ; les formules empiriques, au contraire, prolongées au delà des limites de l'expérience, donnaient une hauteur nulle à des températures que, pour l'éther sulfurique, il était facile de réaliser.

Si l'on enferme dans un tube à parois épaisses de l'éther et un tube capillaire, et qu'on élève progressivement la température, on voit la colonne liquide baisser rapidement dans le tube capillaire, et, vers 190 degrés, disparaître complétement. En même temps, la surface du liquide dans le large tube, d'abord concave, s'approche de plus en plus d'être plane, et le devient à cette même température. Si l'on continue à chauffer, on peut apercevoir le ménisque capillaire au-dessous du niveau du liquide dans le tube large ; vers 198 degrés, la surface du liquide, fortement convexe, semble se couvrir d'un nuage épais et ne présente plus qu'un contour mal défini. Enfin, à 200 degrés, le liquide est complétement réduit en vapeur.

Le sulfure de carbone, l'huile de naphte, l'alcool, placés dans les mêmes conditions, m'ont présenté les mêmes phénomènes de déformation de la surface.

M. Drion ayant contesté l'exactitude de ces résultats, j'ai, en 1864, repris ces expériences sur l'éther à l'Observatoire, et je n'ai pas trouvé qu'il y eût rien à changer à ce que j'avais avancé. (Journal *l'Institut*, 1864, p 197.)

Ces phénomènes m'offraient un intérêt capital, non-seulement parce qu'ils démontraient l'inexactitude de la loi théorique, mais surtout parce qu'ils donnaient la clef du désaccord. La théorie suppose, en effet, que la surface du ménisque terminal conserve une courbure constante ; l'expérience montre que ce ménisque s'aplatit de plus en plus, finit par s'annuler

et devient même convexe; d'où résulte que l'éther, à de hautes températures, cesse de mouiller le vase qui le contient et se comporte comme le mercure froid.

Il suit de là que, au moins à des températures élevées, l'hypothèse de l'existence d'une couche liquide adhérente aux parois des tubes doit être abandonnée.

J'ai même constaté, par des mesures directes, que cette variation de la forme du ménisque se manifeste déjà pour une variation de température de quelques degrés, à partir de la température ambiante.

Sur la vaporisation totale des liquides. (Journal *l'Institut*, 1864, p. 197.)

La répétition des expériences sur l'éther chauffé en vase clos, dont j'ai parlé plus haut, m'a amené, en 1864, à énoncer d'une manière plus formelle que je n'avais osé le faire, d'après les premiers essais, la loi suivante, déjà entrevue par Cagniard de Latour : la température de volatilisation complète d'un liquide paraît indépendante du rapport qui existe entre son volume et celui de l'espace libre dans lequel il peut se répandre; d'où il suit qu'il existe, pour les liquides non décomposables par la chaleur, un *point de vaporisation*, complétement distinct de ce qu'on appelle le *point d'ébullition*, et qui présente les mêmes caractères que le point de fusion, c'est-à-dire une température *presque indépendante de la pression* au-dessous de laquelle le corps peut être en vapeur, mais *au-dessus de laquelle il est nécessairement gazeux*.

Il suit de là que la pression, quelle qu'elle soit, peut être impuissante à liquéfier certains gaz, si l'on n'ajoute pas à son effet celui d'un abaissement de température. C'est, je crois, la première indication qui ait été donnée de l'existence de la *température critique*, sur laquelle l'attention vient d'être rappelée par les belles expériences de MM. Cailletet et Raoul Pictet.

Sur le son des anches libres et leur application aux expériences de composition des mouvements vibratoires. (Journal *l'Institut*, 1862, p. 393.)

J'ai remarqué que, bien que le son rendu par un tuyau à anche contienne de nombreux et puissants harmoniques, cependant le mouvement vibratoire de la languette métallique est simple et correspond seulement au son fondamental du tuyau; car, si l'on fixe un petit miroir au sommet de

cette languette, et qu'on y fasse réfléchir un pinceau de lumière pour le recevoir ensuite sur un miroir tournant, l'image obtenue est une sinusoïde simple. Les sons concomitants ont leur origine dans ce fait, que la languette, tout en vibrant régulièrement, ouvre et ferme l'orifice d'écoulement de l'air pendant des intervalles de temps très-inégaux. Il se produit donc des sons analogues à ceux que produirait une sirène munie d'ouvertures inégales se succédant suivant une loi déterminée.

J'ai mis à profit cette simplicité du mode de vibration des anches pour répéter d'une manière plus commode dans les cours les expériences de M. Lissajous sur la combinaison des mouvements vibratoires. La substitution aux diapasons d'anches libres munies de miroirs permet de soutenir les sons aussi longtemps qu'on le désire, de faire entendre à l'oreille l'accord ou le désaccord qui se traduit pour l'œil par la fixité ou la rotation de l'image de combinaison, enfin d'obtenir cet accord ou ce désaccord par un simple renforcement du vent fourni à l'un des tuyaux.

4332 Paris. — Imprimerie de Gauthier-Villars, quai des Augustins, 55.